

面向 21 世纪的智能配电网

余贻鑫

(天津大学电气与自动化工程学院, 天津 300072)

Intelli-D-Grid for the 21st century

YU Yi-xin

(School of Electrical and Automation Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

编者按:余贻鑫院士在“中国南方电网公司第三届南方电网技术论坛”上作了一个主旨报告——《面向 21 世纪的智能配电网》。本文是编者根据该报告的 PowerPoint 文本编辑整理而成的,经作者审阅后发表于此。作者在文中指出,智能配电网 IntelliGrid/SHG 是客观发展的必然结果,不是可选择或可不选择的。我国城市电网正在快速发展中,开展未来配电网的研究对我国社会经济发展尤其具有重大意义。其中包含众多研发课题,宜尽早计划和组织这一领域的工作。

世界对电力的需要正处在一个关键的转折点,未来的配电系统基础设施应当具备以下几个特点:

——很大的灵活性;

——多种功能性;

——安全、可靠、有效地向用户提供高质量的电能,以增强用户的满意度;

——用户可以方便选择不同的供电商;

——给经济和社会带来发展机会。

未来的配电系统必须能应对越来越大的挑战:

(1) 由于更多的分布式能源(分布式发电,分布式储能,需求侧管理)渗透在配电系统基础设施中,要求未来的配电系统具有新的灵活的可重构的网络拓扑、新的保护方案、新的电压控制和新的仪表;

(2) 为了提高电网的利用系数(现时很低,据美国统计,约 55%),需要电力公司与用户友好合作,达到双赢。因此,需要开发高级的配电市场,实现更具弹性的负荷需求特性。随着更高级的用户

界面的应用,使用户可根据价格、可靠性等来进行实时交易,这将需要高透明度的用户界面,而且配电网的运行将更加复杂化、更难以预计,还必须考虑反应延迟的问题;

(3) 由于技术与经济的发展对配电网各种约束的日益提高,即要求提高供电可靠性、提高电能质量和节能降耗,配电网的运行人员需要有新的实时工具辅助他们决策,也需要有新的网络拓扑和智能电力电子装置。

1 智能配电网的概念

一个智能配电网,除了它的核心构件 IECSA, D-FSM, T-FSM 之外,还应该具有如下的系统和设备:

——用户管理系统:把积极的电力用户集成到配电网中,使用户参与到(削峰的)输电运行员的辅助服务中来;

——分布式电源管理系统:把分布式电源集成入配电网,使分布式电源能够提供辅助服务;

——高级电力电子设备:配电灵活输电 DFACTS 和配电静止无功补偿安置的计算,使 DFACTS 参与到网络重构中来;

——高级的传感器:自动把分布式电源接入配电网,使参与者能够提供辅助服务;

——电能质量优化和评估系统:使中压与低压配电网的电能质量优化,使电能质量可以评估。

将在 10~20 年内完成的智能配电网工程 IDG (Intelli-D-Grid) 具有:网络重构;电压与无功控制;故障定位和隔离(对减少停电时间意义大);(当

系统拓扑结构发生变化时)继保再整定 RPR 等功能。IDG 的目标如下:

- 自愈,以及顾客与电网的自适应交互;这是最突出的特点,故简称其为自愈电网(SHG);
- 优化,以使资源和设备得到最好的应用;
- 预测,而不只是对紧急情况作出反应;
- 跨地理边界和组织边界的分布式;
- 合并监视、控制、保护、维护、EMS、DMS 和市场管理功能;
- 对攻击更安全。

2 智能配电网的组成简述

2.1 IECSA——能量与通讯系统集成

它是开放式的、基于标准的架构,集成了数据通讯网络和智能设备,用于支持未来的电力交换系统。

2.2 DER——分布式电源的组成

分布式电源的建设可以提高效率和降低成本。分布式电源的辅助服务是对电网的支持。

2.3 CP——用户入口

用户入口 CP(customer portal)是一个使电网能够和用户进行双向交流的大门:

- 可为用户提供更多的选择、服务和增值;
- 可以通过自动读表、电能质量检测、远程控制 and 诊断方面的技术革新,帮助电力公司管理需求增长和随之而来的问题;
- 在新一代的智能设备和高级服务之间实现信息共享。

用户入口应用包括:

- 高级的自动读表(AMR)功能;
- 需求响应/实时定价/负荷控制;
- 窃电检测;
- 远方开断;
- 全系统性能监视和状态估计的负荷监视;
- 能量管理;
- DER 的界面和控制(DER/ADA 目标模型);
- 停电检测系统的停电检测、通知和界面;
- 电能质量/功率因数/电压控制;
- 维修计划和维修管理。

上述内容未包括用户入口可以提供的其他许多非电力相关的服务。

2.4 传感、检测和支持 IDG 的高级量测系统

这个系统包括:

- 智能化的变电站监视;
- 配电系统的高级(下一代)传感器;
- 支持 IDG 的高级量测系统。

这个系统所使用的智能化电表(advanced metering)具有如下的功能:

- 电能计量的功能;
- 负荷调查(实现“非侵入式”的调查);
- 实时电价、电价区间指示;
- 电能质量监控的功能;
- 此外还具有双向通信、用户访问、自诊断及警报、误差软件补偿等重要的功能。

2.5 新技术

大量应用新型电力电子技术和高级电能质量和可靠性技术。智能电力电子装置(IEDs, DFACTS)是未来配电系统的主要组成部分,它们可协同运行。包括:

- IUT;
- 多功能固态开关;
- SVC 和 D-Statcom。

其中, IUT 以设计好的电力电子系统替代传统的变压器,是 EPRI ADA 项目的一个基础性装置(cornerstone device)。其额定功率为 20 kVA,输入相电压为 2.4 kV,输出的额定电压为 120 V/240 V。这种 IUT 的电力电子系统由一个有效的前端、一个 DC-DC 转换器和一个逆变器组成。

IUT 是用先进的电力电子系统代替传统配电变压器,同传统变压器相比,它将为系统运行提供众多好处和附加的功能,例如:

- 不含有危险的液体介质;
- 模块化,从而减少了备件的库存量;
- 向用户提供可选择的服务项目,如直流或 400 Hz 的电力;
- 可改变接线组别;
- 容许从一条单相线路上传递三相功率;
- 当需要时,可被用来作为开断潮流的可控开关;
- 能够进行实时的电压调节和解决其他的电能质量问题;
- 具有远方通讯能力,可辅助监视配电系统的运行条件,并广泛地支持系统自动化功能。

3 智能配电网的 R&D 领域

智能配电网的研发领域包括: 系统拓扑(图形, 保护, 控制); 通讯体系结构和信息模型开发; 新技术(电力电子, 智能变压器); 传感器和监视系统(智能监视); 高级配电控制(协调分布式智能)等。

3.1 系统拓扑(图形, 保护, 控制)

智能是系统拓扑的关键, 包括:

- 馈线与网络的演变以支持 IntelliGrid / SHG;
- 高级系统重构能力;
- IntelliGrid / SHG 的配电系统保护;
- IntelliGrid / SHG 的局部岛屿化;
- 灵活微网的实现。

其中, 微网的实现是指 Intelli-D-Grid 实现可修改的微网, 把复杂系统划分为许多独立的区域, 使迭代过程比直接求解更有效。

3.2 通讯体系结构和信息模型

这种结构和模型包括: IntelliGrid / SHG 技术的通讯和信息目标模型; 用户入口和系统控制的集成; 以及高级的通讯协同能力。

——DER/ADA 信息目标模型是要创建一个标准的通讯协议, 以保证 DER 和其他电力系统装置之间的信息交换。IEC、IEEE 正在制定用于 DER 目标模型通讯的国际标准;

——为了进一步支持建模的工作, 需要研究包含 DER 的 ADA 系统的运行情况, 进一步理解 DER 在未来配电系统中所扮演的重要角色;

——由于 DER 装置的复杂性、DER 与电力系统控制各环节中的相互作用以及 DER 的商业交易(如电能、无功和其它服务)中存在许多外部的投资者, 因而推动了目标模型的封装。

3.3 Intelli-D-Grid 中的高级配电控制系统

这种控制系统包括:

- 变电站控制系统;
- 高级的停运响应系统;
- 高级的电压和无功控制系统;
- 电能质量控制系统;
- 配电快速仿真系统;
- 系统行为和效率的高级管理;
- 支持网络灵活重构和微网自适应的分布式控制系统。

4 投资与效益

美国估计未来的电网工程实现后, 由于具有较高的容量, 较高的生产率, 较高的电能质量和供电可靠性, 提升了的可亲近性(increased accessibility), 改善了的设备安全(improved safety), 较大的系统安全性, 清洁的环境和较低的能量成本, 从而其总的效益可达 6 380 亿~8 020 亿美元。

5 结束语

城市电网中包含 220 kV 送电网, 110 kV、63 kV、35 kV 高压配电网, 10 kV 中压配电网以及 380 V 低压配电网, 庞大而复杂; 且重要用户停电 80%~90%是由城市电网故障引起的, 网损的大部分也发生在这一部分网络上。

配电网投资很大, 我国在 1998 年至 2000 年投资了 3 000 亿元进行了部分城市电网的改造工作。新近国家电网公司又决定筹资 2 200 亿元对 31 个重点城市电网进行改造。国际上 $G:T:D = 1.0:0.5:1.0$ (0.7), 我国 $G:T:D = 1.0:0.23:0.2$; 由于网损率比发达国家高, 每年损耗掉三四个百万千瓦电厂的全年发电量。

我国电力建设在上世纪长期存在“重发、轻供、不管用”的问题, 常常有电“送不进、落不下、用不上、损耗大”。有资料显示, 我国目前设备检修停电占总停电的 70%~80%, 这说明网络拓扑不够强, 或设备检修工作实施的不够科学, 需要加强电网的规划、建设和管理工作。

IntelliGrid / SHG 是客观发展的必然结果, 不是可选择或可不选择的。ADA 项目可以花较少的钱大幅度提高大笔投资的利用率, 是建设 IntelliGrid / SHG 的重要组成部分。

我国城市电网正在快速发展中, 开展未来配电网的研究对我国社会经济发展尤其具有重大意义。智能配电网包含着众多的研发课题, 建议尽早计划、组织和实施这一领域的工作。

收稿日期: 2006-10-26

作者简介:

余贻鑫 (1936—), 男, 中国工程院院士, 教授, 博士生导师, 从事电力大系统安全监视、防御与控制以及城市配网规划等方面的研究。

(本文责任编辑 张亚拉)